

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Freundt, Ursula; Böning, Sebastian

Verkehrslastmodelle für typische WSV-Brücken

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105297>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Freundt, Ursula; Böning, Sebastian (2018): Verkehrslastmodelle für typische WSV-Brücken. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Entwicklungen und Fortschritte im Brücken- und massiven Verkehrswasserbau. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 43-51.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Verkehrslastmodelle für typische WSV-Brücken

Prof. Dr.-Ing. Ursula Freundt (Ing.-Büro Prof. Dr. U. Freundt, Weimar)

Dr.-Ing. Sebastian Böning (Ing.-Büro Prof. Dr. U. Freundt, Weimar)

Zusammenfassung

Prinzipiell sind Verkehrslastmodelle sowohl für den Neubau als auch für die Nachrechnung allgemein gültig. Dieses Prinzip wird durch eine Art Umhüllende über die Ergebnisse, die aus der Vielfalt der Brücken und der Verkehre ermittelt werden, erreicht. Für den Neubau gestattet dies eine Zukunftsfähigkeit. Für unseren Brückenbestand mit seiner differenzierten Altersstruktur, seiner Breite an Tragsystemen und Herstellungsverfahren und seinen unterschiedlichen Verkehren ist bei einer Unantastbarkeit der Forderungen nach einer gleichen Standsicherheit dieser Weg zu konservativ. Das ist ein Anlass für die hier beschriebenen Untersuchungen. Ein zweiter Sachverhalt beinhaltet die praktische Umsetzung der Ergebnisse. Bislang dienen die historischen Verkehrslastmodelle zur Abstufung. Angestrebt wird eine gemeinsame Grundlage und somit eine Differenzierung der Lastmodelle auf der Basis des aktuellen Lastmodells LM1. Das ist auch ein Ziel für die bestehende Nachrechnungsrichtlinie. Eine Analyse der WSV Spezifik im dargelegten Tenor zeigt, dass typische Tragsysteme und Stützweiten erkennbar sind und die Brücken mehrheitlich im untergeordnete Verkehrsnetz liegen. Beide Sachverhalte waren und sind nicht oder nicht vordergründig Gegenstand der Untersuchungen für die aktuelle Nachrechnungsrichtlinie und deren Fortschreibung. Die hier vorgestellten Untersuchungen sind den genannten Sachverhalten gewidmet und sie dienen einer bestandsorientierten Nachrechnungsgrundlage entsprechend dem aktuellen Stand der Technik.

1. Einleitung

Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ist Baulastträger für eine große Anzahl von Brückenbauwerken im Zuge unterschiedlicher Straßenkategorien in Deutschland.

Vor dem Hintergrund der Altersstruktur der Brückenbauwerke, nicht nur im Bereich der WSV, ist es für die sinnvolle Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Brückenbauwerke erforderlich, objektspezifische Verkehrslastniveaus infolge objektspezifischen Verkehrscharakteristiken zu verwenden. Die Nachrechnungsrichtlinie ([3], [4]) gibt hierzu Ziellastniveaus in Abhängigkeit von Parametern der Verkehrscharakteristik (Schwerverkehrsstärke und Schwerverkehrszusammensetzung) vor. Die Ziellastniveaus dienen vorwiegend der Beurteilung von Brückenbauwerken im Zuge von Bundesfernstraßen. Die Beschreibungen der Verkehrscharakteristiken stammten dabei aus Verkehrserfassungen an Autobahnen.

Im Rahmen von drei Teilprojekten im Auftrage der Bundesanstalt für Wasserbau ([5], [6], [7]) wurden drei Brückenbauwerke in der Baulast der WSV messtechnisch ausgestattet um Verkehrsdaten zu erheben. Damit wurde der Erkenntnisbereich für objektspezifische Verkehrscharakteristiken, vor allem für das nachgeordnete Straßennetz deutlich erweitert.

Die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen zur Ermittlung von objektspezifischen Ziellastniveaus für Brückenbauwerke sowohl im Auftrag der BAW als auch anderer Baulastträger lagen sowohl im Bereich der definierten Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie als auch deutlich darunter. Der Grund hierfür liegt in verschiedenen Parametern, die die Aussage einer Abdeckung einer objektspezifischen Verkehrsbeanspruchung durch ein definiertes Lastmodell beeinflussen. Diese sind nicht nur auf Parameter der Verkehrscharakteristik beschränkt, sondern zu einem nicht unerheblichen Anteil durch Parameter des betrachteten Bauwerkes beeinflusst.

2. Prinzipielle Vorgehensweise der Untersuchungen

Im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (ehemals Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) und der Bundesanstalt für Straßenwesen und einer Dissertation wurde eine geschlossene Vorgehensweise zur Ermittlung von Beanspruchungen von Brückenbauwerken infolge Straßenverkehr entwickelt, erprobt und verifiziert (vgl. [8], [9], [10], [11]). Die Untersuchungen waren dabei unter anderem die Grundlage für die Festlegung der Ziellastniveaus und der verkehrlichen Kompensationsmaßnahmen in der Nachrechnungsrichtlinie (vgl. [3], [4]).

In der Vorgehensweise werden unter Verwendung von erforderlichen Eingangsdaten (Beschreibung des Verkehrsaufkommens hinsichtlich Verkehrsstärke, Verkehrszusammensetzung und Gesamtgewichten der verkehrenden Fahrzeuge) Verkehrssimulationsrechnungen durchgeführt. Die simulierten Fahrzeugfolgen in zu betrachtenden Fahrspuren werden rechnerisch über Einflussflächen definierter Kennwerte von Tragsystemen (z.B. Biegemoment oder Querkraft) geführt und daraus Kennwert-Zeit-Verläufe ermittelt. Mit Hilfe einer statistischen Auswertung werden daraus durch Extrapolation Werte mit definierten mittleren Wiederkehrperioden ermittelt. Entsprechend der Definition im DIN EN 1991-2 [1] ist hierbei der charakteristische Wert einer Beanspruchung aus Verkehr ein Wert mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren.

Die auf diesem Weg ermittelten Werte (verschiedene Kennwerte, unterschiedliche Varianten von Verkehr) werden zur Einordnung zunächst den analogen Werten aus der Anwendung historischer Lastmodelle nach DIN 1072 sowie aus der Anwendung des Lastmodells LM 1 nach DIN Fachbericht 101 und nach EC1 in Verbindung mit dem deutschen NA gegenübergestellt.

Dies gestattet die Einordnung der ermittelten charakteristischen Werte in historische Lastmodelle aber auch eine Ermittlung von Vorfaktoren für das Lastmodell LM 1 nach DIN Fachbericht 101 oder nach EC 1 in Verbindung mit dem deutschen NA. Letzteres ist Gegenstand der Aufgabenstellung der BAW und zeitgleich für die Überarbeitung der Nachrechnungsrichtlinie.

3. Betrachtete Tragsysteme

Die Auswahl zu betrachtender Tragsystemen muss repräsentativ für den angezielten Bauwerkbestand sein. Durch die WSV wurde eine Vorauswahl von Bauwerken vorgenommen. Diese repräsentieren einen großen Anteil der in der Baulast der WSV vorhandenen Tragwerke. Die vorausgewählten Trag-

werke unterscheiden sich hinsichtlich Tragsystem (z.B. Ein-, Zwei- und Dreifeldsysteme), den Stützweiten und Stützweitenverhältnissen, der Fahrbahnbreite sowie der Spurbelegung.

Aus den bisherigen Untersuchungen lassen sich neben der Verkehrscharakteristik folgende Parameter ableiten, die ergebnisbestimmend sind:

- Fahrbahnbreite / Spurbreite
- Stützweiten
- Einfeld- / Mehrfeldsysteme
- Querschnitt

Anhand dieser Parameter wurden drei Bauwerke aus der Vorauswahl für die Untersuchungen ausgewählt. Hierbei handelte es sich um ein Dreifeldsystem mit Stützweiten zwischen 24 m und 72 m mit einem zweistegigen Plattenbalkenquerschnitt. Die Fahrbahnbreite beträgt 8,50 m und überführt werden zwei Fahrspuren in entgegengesetzter Fahrtrichtung. Bei dem zweiten und dritten Tragwerk handelte es sich um die beiden getrennten Überbauten eines Gesamtbauwerkes. Das Einfeldsystem weist eine Stützweite von 52 m auf. Der erste Überbau mit einer Fahrbahnbreite von 8,5 m überführt zwei Richtungsfahrstreifen, der zweite Überbau mit einer Fahrbahnbreite von 12,25 m überführt drei Richtungsfahrstreifen (zwei durchgehende Fahrstreifen, eine Abbiegespur).

Für die Ermittlung der erforderlichen Einflussflächen für ausgewählte Kennwerte (Momente und Querkräfte) wurden für die untersuchten Tragwerke FE-Modelle mit mittleren Detailierungsgraden erstellt. Exemplarisch ist in nachfolgender Bild 1 das Modell des betrachteten Dreifeldsystems dargestellt. Aus den erzeugten Einflussflächen ist in Bild 2 die Einflussfläche für das Moment eines Steges des zweistegigen Plattenbalkenquerschnittes in der Mitte de Mittelfeldes dargestellt.



Bild 1: Tragwerk 1 – Dreifeldsystem – Tragwerksmodell

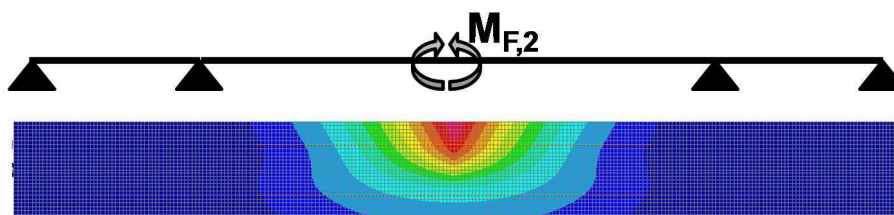


Bild 2: Tragwerk 1 – Dreifeldsystem – Einflussfläche Feldmoment

4. Betrachtete Verkehrscharakteristiken

Im Rahmen der Untersuchungen wurde eine breite Variation von Verkehrscharakteristiken betrachtet. Die Variation bezog sich dabei auf folgende Beschreibungsparameter der Verkehrscharakteristik:

- Durchschnittliche tägliche Schwerverkehrsstärke (DTV-SV)
- Schwerverkehrszusammensetzung
- Gesamtgewichtsverteilungen für ausgewählte Fahrzeugtypen des Schwerverkehrs
- Ansatz von genehmigungspflichtigem Schwerverkehr für den im Allgemeinen eine Dauer genehmigung erteilt wird
- Variation der Spurbelegung (Begegnungsverkehr und Richtungsverkehr auf zwei Spuren)
- Variation der Verteilung des Verkehrs auf mehr als eine Spur pro Fahrtrichtung
- Varianten von Verkehr mit bzw. ohne Stauabschnitte

Im Detail wurden hinsichtlich der Schwerverkehrsstärke (DTV-SV) Werte zwischen 1.000 und 3.000 untersucht. Diese Werte liegen damit im Wesentlichen unterhalb des Wertebereiches der Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie, bilden aber häufige Schwerverkehrsstärken im Straßennetz unterhalb von Autobahnen ab.

Hinsichtlich der Schwerverkehrszusammensetzung wurden insgesamt acht Varianten untersucht. Zur Ableitung dieser Varianten wurde dabei zunächst von verschiedenen Basiszusammensetzungen hinsichtlich des Verhältnisses zwischen LKW ohne Anhänger und Lastzugkombinationen (LKW mit Anhänger, Sattelzugfahrzeuge) ausgegangen. In der weiteren Ableitung der detaillierten Zusammensetzungen wurden Datengrundlagen aus früheren Verkehrserfassungen an einer Autobahn (vgl. Daten u.a. in [8]) sowie die an der Lingener Damm Brücke ermittelten Verkehrsdaten (vgl. [7]) herangezogen. Die Variationen der Schwerverkehrszusammensetzung sind in nachfolgender Bild 3 grafisch dargestellt.

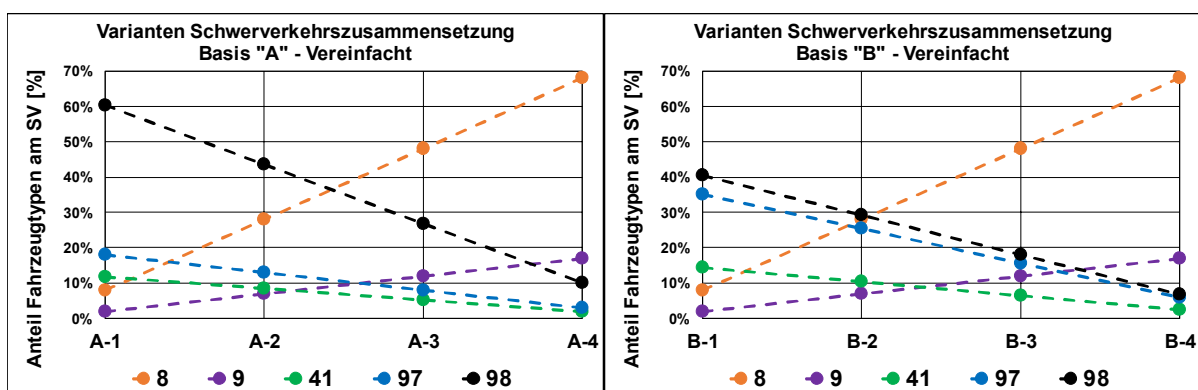


Bild 3: Variationen der Schwerverkehrszusammensetzung

Hinsichtlich der Gesamtgewichtsverteilungen der betrachteten Fahrzeugtypen (vgl. Bild 3) wurden ebenfalls zwei Varianten betrachtet. In der ersten Variante wurden die u.a. in [8] verwendeten Gesamtgewichtsverteilungen verwendet. In der zweiten Variante wurden die an der Lingener Damm Brücke in [7] ermittelten Gesamtgewichtsverteilungen für die Untersuchungen herangezogen.

5. Ergebnisse

Die dargestellte Variantenbreite von Verkehrscharakteristiken in den Untersuchungen führte zu einer entsprechend großen Ergebnisbreite. Die Zusammenfassung von Ergebnissen zu einer Variante der Schwerverkehrszusammensetzung und der Schwerverkehrsstärke erlaubt die Ableitung einer kumulierten relativen Häufigkeitsverteilung. Für die weitere Ergebnisaufbereitung wird dann ein geeigneter Fraktilwert dieser Verteilung verwendet.

Mittels eines Optimierungsverfahrens wird ein Faktor für das Lastmodell LM 1 nach DIN-Fachbericht 101 ermittelt. Die Optimierung ist auf den Faktor orientiert, der über verschiedene Kennwerte eines Tragwerkes (oder mehrerer Tragwerke) hinweg den kleinsten Abstand zum Simulationsergebnis ausweist.

In analoger Weise werden Faktoren für das Lastmodell LM 1 nach EC 1 in Verbindung mit dem deutsche NA ermittelt. Die Komponenten des Lastmodells LM 1 nach DIN-Fachbericht und LM 1 nach EC 1 und NA haben unterschiedliche α -Faktoren. Deshalb besteht kein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Lastmodellen.

In nachfolgender Bild 4 sind die ermittelten Faktoren für das Lastmodell 1 nach DIN FB 101 für Tragwerk 1 grafisch zusammengestellt. Dieses Tragwerk überführt 2 Spuren im Begegnungsverkehr (BV). Die Abbildung enthält die verschiedenen betrachteten DTV-SV Werte sowie die betrachteten Varianten der Schwerverkehrszusammensetzung, aufgeführt als Anteil von LKW ohne Anhänger am Gesamtschwerverkehr. Die in den Diagrammen rot eingetragenen Punkte zeigen die aufbereiteten Ergebnisse der Simulationsrechnungen.

Die blauen Punkte repräsentieren die aktuell definierten Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie für die hier zutreffende Verkehrsbelegung (Tabelle 10.2 der Nachrechnungsrichtlinie) ebenfalls als LM1-Faktoren. Für die Schwerverkehrsstärke 2.000 sind zwei identische Verlaufsdiagramme der ermittelten Faktoren (rote Linie) mit unterschiedlichen Werten aus dem Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie (blaue Punkte) aufgeführt. Der Hintergrund besteht in der Abgrenzung der Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie bei einem DTV-SV Wert von 2.000. Die ermittelten Faktoren liegen zwischen 0,78 und 0,69. Die Variation der Faktoren resultiert überwiegend aus der Variation der Schwerverkehrszusammensetzung und kaum aus der Variation der Schwerverkehrsstärke. Gegenüber den aktuellen Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie zeigen sich hier vor allem im Bereich der Schwerverkehrszusammensetzungen mit kleineren Anteilen von LKW ohne Anhänger, und damit größeren Anteilen von u.a. Sattelzugfahrzeugen, größere Abstände.

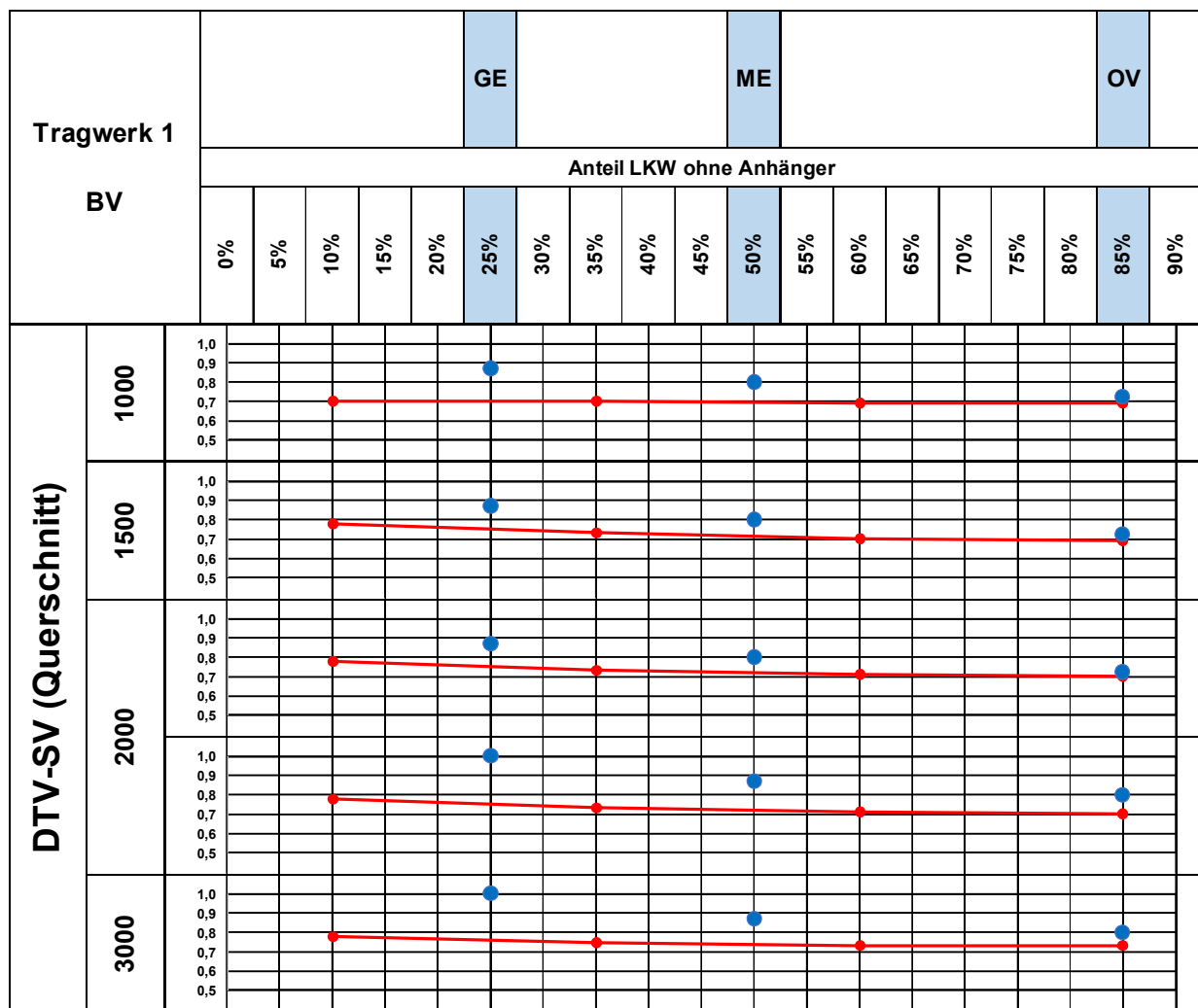


Bild 4: Ergebnisaufbereitung Tragwerk 1 (Begegnungsverkehr)– Faktoren für LM 1 nach DIN FB 101

Die Ergebnisse werden aus Vergleichsbarkeitsgründen tabellarisch in Anlehnung an die Tabellen 10.1 und 10.2 der Nachrechnungsrichtlinie aufbereitet. In nachfolgender Tabelle 1 sind beispielhaft die Ergebnisse für Tragwerk 1 eingetragen. Die in der Tabelle blau hinterlegten Felder entsprechen den Feldern der Tabelle 10.2 der Nachrechnungsrichtlinie, ergänzt um den LM1-Faktor. In den nicht hinterlegten Feldern sind die WSV-spezifischen Faktoren eingetragen, ergänzt um die zugeordneten historischen Lastmodelle. In analoger Weise sind in Tabelle 2 die Ergebnisse für Tragwerk 2 und 3 zusammengefasst. Hier ist aufgrund der zwei bzw. drei Spuren einer Fahrtrichtung auf den jeweiligen Bauwerken die Tabelle 10.1 der Nachrechnungsrichtlinie die Vergleichsbasis. In allen dargestellten Fällen ergeben sich gegenüber der Nachrechnungsrichtlinie niedrigere Ziellastniveaus.

Differenzierung DTV-SV (NRR)	Differenzierung DTV-SV	Verkehrsart / Schwerverkehrszusammensetzung							
		Anteil LKW mit Anhänger + Sattelzugfahrzeuge zu Anteil LKW ohne Anhänger							
		90-10	75-25	65-35	50-50	40-60	15-85		
DTV-SV < 2.000	DTV-SV 1.000	0,70 (< BK 30/30)	0,70 (< BK 30/30)	0,70 (< BK 30/30)	0,69 (< BK 30/30)	0,69 (< BK 30/30)	0,69 (< BK 30/30)	BK 30/30 (0,72)	
	DTV-SV 1.500	0,78 (< BK 60)	0,75 (< BK 60)	0,73 (< BK 60)	0,71 (< BK 30/30)	0,70 (< BK 30/30)	0,69 (< BK 30/30)		
	DTV-SV 2.000	0,78 (< BK 60)	0,75 (< BK 60)	0,73 (< BK 60)	0,72 (< BK 30/30)	0,71 (< BK 30/30)	0,70 (< BK 30/30)		
DTV-SV > 2.000	DTV-SV 3.000	0,78 (< BK 60)	0,76 (< BK 60)	0,75 (< BK 60)	0,74 (< BK 60)	0,73 (< BK 60)	0,73 (< BK 60)	BK 60 (0,80)	
	DTV-SV > 3.000								

Tabelle 1: Ziellastniveau in Anlehnung und im Vergleich zu Tab. 10.2 der Nachrechnungsrichtlinie (Querschnitt mit einem Fahrstreifen pro Richtung – Tragwerk 1) – Faktoren bezogen auf LM 1 nach DIN-Fachbericht 101

Differenzierung DTV-SV (NRR)	Differenzierung DTV-SV	Verkehrsart / Schwerverkehrszusammensetzung							
		Anteil LKW mit Anhänger + Sattelzugfahrzeuge zu Anteil LKW ohne Anhänger							
		90-10	75-25	65-35	50-50	40-60	15-85		
DTV-SV < 2.000	DTV-SV 1.000	0,75 (< BK 60/30)	0,75 (< BK 60/30)	0,75 (< BK 60/30)	0,71 (< BK 60)	0,68 (< BK 60)	0,65 (< BK 60)	BK 60 (0,74)	
	DTV-SV 2.000	0,76 (< BK 60/30)	0,76 (< BK 60/30)	0,76 (< BK 60/30)	0,74 (< BK 60)	0,73 (< BK 60)	0,68 (< BK 60)		
	DTV-SV 3.000	0,81 (< BK 60/30)	0,81 (< BK 60/30)	0,81 (< BK 60/30)	0,78 (< BK 60/30)	0,76 (< BK 60/30)	0,70 (< BK 60)		
DTV-SV > 2.000	DTV-SV > 3.000							BK 60/30 (0,85)	

Tabelle 2: Ziellastniveau in Anlehnung und im Vergleich zu Tab. 10.1 der Nachrechnungsrichtlinie (Querschnitt mit mehr als einem Fahrstreifen pro Richtung – Tragwerk 2 und 3 – Faktoren bezogen auf LM 1 nach DIN-Fachbericht 101

Die vorliegenden Ergebnisse erlauben auch eine Einschätzung der Auswirkungen der betrachteten Parameter der Verkehrscharakteristik.

Es zeigt sich, dass die Schwerverkehrszusammensetzung den dominanten Einfluss gegenüber der Schwerverkehrsstärke und der Gesamtgewichtverteilung hat.

Zusammenfassend muss jedoch betont werden, dass die objektspezifische Ermittlung von detaillierten Verkehrsdaten, wie sie im Rahmen der Bauwerksmessungen an der Brücke „Lingener Damm“ realisiert wurden, für objektspezifische oder auch umkreisspezifische Aussagen zu Bauwerksbeanspruchungen die besten Voraussetzungen hat.

6. Weiterführende Untersuchungen und abschließende Bemerkungen

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden für ausgewählte Bauwerke in der Baulast der WSV Beanspruchungen aus Straßenverkehr infolge verschiedener Verkehrscharakteristiken ermittelt. Für die Ermittlung der Beanspruchungen wurden dabei Verkehrssimulationsrechnungen durchgeführt. Die Auswahl der Bauwerke erfolgte mit der Zielstellung, den Bauwerksbestand der WSV möglichst breit abzudecken. Die ermittelten Ergebnisse zeigen im Vergleich zu den Ziellastniveaus der Nachrechnungsrichtlinie zum Teil deutliche Reserven. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Bauwerke bedingt eine Vergleichbarkeit der Bauwerke hinsichtlich Tragverhalten und hinsichtlich der betrachteten Verkehrscharakteristiken. Vor diesen Hintergrund laufen gegenwärtig weiterführende Untersuchungen im Auftrag der Bundesanstalt für Wasserbau. Das Tragsystem (vgl. [5]) wird um Verkehrsvarianten erweitert und für das hier betrachtete Tragwerk 2 werden abweichende Verkehrsführungen auf dem Bauwerk simuliert. Diese Ergebnisse werden zusätzliche Referenzwerte für die bereits vorliegenden Resultate liefern und Festlegungen der BAW zu Lastmodellen für die Nachrechnung von Brücken in der Baulast der WSV ermöglichen.

7. Literatur

- [1] NORM DIN EN 1991-2: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. Beuth Verlag, Fassung 12/2010.
- [2] NORM DIN EN 1991-2/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. Beuth Verlag, Fassung 08/2012.
- [3] Nachrechnungsrichtlinie Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Ausgabe 05/2011). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Abteilung Straßenbau, 2011.
- [4] Nachrechnungsrichtlinie - 1. Ergänzung Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand - 1 Ergänzung (Ausgabe 04/2015). Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015.
- [5] FREUNDT, U.; BÖNING, S.; HÖLZER, D.: Bestimmung von Verkehrslastmodellen für statische Tragfähigkeit und Ermüdung an der Dreierwalder Brücke (Forschungsbericht - unveröffentlicht). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, 2015.
- [6] FREUNDT, U.; BÖNING, S.; HÖLZER, D.: Bestimmung von Verkehrslastmodellen für statische Tragfähigkeit und Ermüdung an der Brücke im Zuge der Göxer Landstraße in Hannover Seelze (Forschungsbericht - unveröffentlicht). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, 2016.
- [7] FREUNDT, U.; BÖNING, S.; STADE, I.: Bestimmung von Verkehrslastmodellen für statische Tragfähigkeit und Ermüdung an der Lingener Damm Brücke über den DEK (Forschungsbericht - in Bearbeitung). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, 2016.

- [8] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Anpassung des DIN-Fachberichts 101 „Einwirkungen auf Brücken“ an Eurocodes - Zukunftsfähiges Lastmodell für Straßenverkehrslasten. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Brücken- und Ingenieurbau - Heft B 77. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 2011.
- [9] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand - Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Brücken- und Ingenieurbau - Heft B 82. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 2011.
- [10] BÖNING, S.: Entwicklung einer geschlossenen Vorgehensweise zur Ermittlung von Beanspruchungen von Brückenbauwerken infolge Straßenverkehr. Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, Dissertation, 2013.
- [11] FREUNDT, U.; BÖNING, S.: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchung - Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Brücken- und Ingenieurbau - Heft B 97. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 2014.